

多目标进化算法在物流配送中心选址中的应用

张金凤¹, 陈蔚丽²

(1. 广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006; 2. 广东工业大学 图书馆, 广东 广州 510006)

摘要: 传统的物流配送中心选址模型过于单一地追求物流成本的最小化, 而没有考虑服务的质量与效率. 本文将顾客时间满意度作为度量物流服务水平的一个标准, 提出了物流配送中顾客时间满意度的计算方法, 建立了以物流成本最小化和时间满意度最大化为目标的物流配送中心选址多目标优化模型. 采用一种基于 NSGA-II 的多目标进化算法来求解, 通过选择合适的编码方法和遗传算子可以得到模型的最优解, 并通过实际算例说明了模型和算法的有效性. 该模型能一次得到多组有效解, 从而可以为物流配送中心选址提供更加全面的决策支持.

关键词: 配送中心; 物流; 多目标优化; 选址; 进化算法

中图分类号: O29

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)04-0076-05

在物流系统中, 配送中心居于重要的枢纽地位. 物流配送中心的选址, 是指在一个具有若干供应点及若干需求点的经济区域内, 选一个或多个地址设置配送中心的规划过程. 一个好的物流配送中心选址方案可以有效地节约费用, 客户服务效果更好, 促进生产和消费的协调与配合, 保证物流系统的平衡发展, 因此物流配送中心的合理选址就显得十分重要. 传统的以总运费最小为优化目标的单目标优化模型^[1-6]得到的解往往并不是最满意的解, 决策者希望得到的是多目标的最优解. 因为物流作为一种典型的服务行业, 顾客的满意度是必须放在首位的. 而决定顾客满意度的众多因素中, 时间满意度是非常重要的. 本文将时间满意度这一概念引入物流配送中心选址问题中来, 建立了物流配送中心选址的多目标优化模型. 文献[4]也考虑到了关于物流配送的时间问题, 但它并没有给出具体的时间满意度表示方法, 也没有具体的数值算例来仿真, 并且它的模型是一个单目标最优化问题, 这样得到的选择策略无疑具有很大的局限性. 因为对决策者而言他们希望有尽可能多的选择策略, 本文的多目标选址模型则可以让决策者根据企业战略选择适合的方案.

1 配送中心选址问题

1.1 配送中心选址问题的描述

已知每个客户的需求量和位置, 从一组候选地址中选择若干个地址作为配送中心来进行建设, 使

得从这些配送中心向客户配送产品的运输成本和配送中心的建设成本之和最小, 并且使得顾客的时间满意度最大.

1.2 配送中心选址模型的假设

为了便于建立模型, 作一定的假设, 假设系统满足以下一些条件:

- (1) 配送中心容量可以满足要求, 即每个配送中心产品的库存能够满足其服务范围内客户的全部需求;
- (2) 一个需求点仅由一个配送中心供应;
- (3) 各需求点的需求量已知;
- (4) 系统总费用不考虑送货之外的拣货、集货、配载和仓库存储费用, 只考虑固定的配送中心建设费用和运输费用, 且配送中心的固定建设费用已知;
- (5) 不同的产品单位运输费用无差别, 为一常数且已知;
- (6) 运输费用与运量和距离成正比;
- (7) 各客户需求的物品一次运输完成.

1.3 配送中心顾客时间满意度计算方法

配送中心 i 在一定的条件下在客户 j 要求的时限内将产品送达的概率, 可以表示如下^[8]:

$$P_{ij} = P(T_{ij} \leq t_j) = P\left(\frac{d_{ij}}{V_{ij}} \leq t_j\right) = P\left(V_{ij} \geq \frac{d_{ij}}{t_j}\right) = 1 - F_{V_{ij}}\left(\frac{d_{ij}}{t_j}\right),$$

其中, T_{ij} 为配送中心 i 给客户 j 配送产品所用的时间; t_j 为客户 j 所要求的送货时限; d_{ij} 为配送中心 i 与 j 客户之间的距离; 车辆从配送中心 i 到客户 j 的

行驶速度用一随机变量 V_{ij} 来模拟, $F_{V_{ij}}(\cdot)$ 为它的分布函数. 它具有统计规律, 通常可以通过曲线拟合得到. P_{ij} 可以表示为一个配送中心 i 为客户 j 配送产品的时间满意度, 那么一个配送中心服务于多个客户或者多个配送中心服务于各自服务范围内多个客户的配送中心系统的时间满意度可以如下定义计算:

$$P(s) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} P_{ij}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \left[1 - F_{V_{ij}}\left(\frac{d_{ij}}{t_j}\right) \right]}{n}, y_{ij} \in \{0, 1\},$$

其中, m 为备选地址个数, n 为客户总数.

1.4 配送中心选址模型的建立

配送中心选址问题的目标函数是从被选地点中选出最佳的配送中心, 使包括配送中心的投资费用及运输费用的总和最小, 同时使得顾客的平均时间满意度最大.

配送中心选址的多目标优化模型如下:

$$\begin{aligned} \min C(s) &= \sum_{i=1}^m f_i X_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_j d_{ij} c_{ij} y_{ij}; \\ \max P(s) &= \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij} \left[1 - F_{V_{ij}}\left(\frac{d_{ij}}{t_j}\right) \right]}{n}; \end{aligned}$$

$$\text{s. t } \sum_{i=1}^m y_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (1)$$

$$y_{ij} \leq X_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (2)$$

$$X_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (3)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n q_j y_{ij} \leq U_i, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad (5)$$

$$P_{ij} y_{ij} \geq r_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

1) 常量说明

c_{ij} 表示候选地址 i 与 j 客户之间的单位运输费用, f_i 为在候选地址 i 建设配送中心的固定费用, q_j 表示客户 j 的产品需求量, r_j 表示客户 j 的最小时间满意度, U_i 表示配送中心 i 的容量.

2) 变量说明

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{在候选地址 } i \text{ 建设配送中心,} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{在候选地址 } i \text{ 建设的} \\ & \text{配送中心服务于客户 } j, \\ 0, & \text{否则.} \end{cases}$$

3) 约束条件说明

式(1)表示每个客户只有一个配送中心提供服务;

式(2)说明若候选地址 i 没有建设配送中心, 则不能为客户提供物流服务;

式(5)表示配送中心 j 容量的限制;

式(6)表示客户 j 的最低时间满意度限制.

2 多目标优化问题的解算法

2.1 编码

设计合理的编码是成功构造遗传算法的第一步, 因为每一组编码都代表一个备选解. 对于 X 采用二进制编码, 字符串的长度为备选地址的个数, 构造如下字符串: $X_1 X_2 \dots X_i \dots X_m$, m 为备选地址的个数, X_i 为 0 表示不在地址建立配送中心, X_i 为 1 表示在候选地址 i 建立配送中心. 对于 Y 采用 1 到 m 的整数编码, 构造如下字符串: $Y_1 Y_2 \dots Y_j \dots Y_n$, n 为客户的总数, Y_j 的值表示客户 j 由哪个配送中心提供服务, 取值范围为 $[1, m]$. 在本文算例中, 如果 1 个个体的编码是 0 1 0 1 1 2 4 5 2 2 4 5 4, 前 5 个变量是 0-1 编码, 后 8 个数是从 1 到 5 的整数编码, 其代表意思是在第 2、4 和 5 的候选地址中建立配送中心, 配送中心 2 服务于顾客 1、4 和 5, 配送中心 4 服务于顾客 2、6 和 8, 配送中心 5 服务于顾客 3 和 7.

2.2 解码及其适应值的求解

Y 的编码需要解码成 0-1 变量的形式, 如果 Y 的编码是 1 2 4 5 4 4 1 1, 则解码成一个矩阵

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

这是一个带约束的多目标优化问题, 适应值的选取对算法的性能有很大的影响. 由于原模型的第一个目标函数是求最小值, 第二个目标函数是求最大值, 为了求解方便, 把第二个目标函数转化为求最小值, 即取 $P'(s) = -P(s)$. 本文采用的是罚函数法来处理约束条件. 为了处理方便, 先把约束条件(2)、(5)、(6)都转化成统一的形式, 即

$$y_{ij} - X_i \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n;$$

$$\sum_{j=1}^n q_j y_{ij} - U_i \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$r_j - P_{ij} y_{ij} \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n.$$

罚函数的构造方法是: $v(s) = \sum_{i=1}^k \max(f_i(s), 0)$, 其中 $f_i(s)$ 为约束条件, k 为约束条件总个数, 在本文模型中 $k = 2mm + m$, 而罚函数为

$$v(s) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \max(y_{ij} - X_i, 0) + \sum_{i=1}^m \max(\sum_{j=1}^m q_j y_{ij} - U_i, 0) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \max(r_j - P_{ij} y_{ij}, 0),$$

则构造如下的适应值函数:

$$g'_1(s) = g_1(s) + p_{n_1} v(s),$$

$$g'_2(s) = g_2(s) + p_{n_2} v(s),$$

其中 p_{n_1} 和 p_{n_2} 为惩罚系数.

2.3 杂交和变异

遗传算法的杂交算子是模拟自然界有性生殖基因重组的过程. 它的主要功能是把前代的优良基因遗传给下一代, 并且使产生的后代具有更加复杂、更多样性的基因结构. 本文采用的是两点均匀杂交. 杂交概率设为 0.8; 对于两个不同的杂交父代, 随机产生两个不同的杂交点, 如

父代一 1 1 1 0 | 0 1 3 2 1 1 2 | 2 3,

父代二 0 0 1 1 | 1 2 2 3 3 4 2 | 4 4,

然后随机产生一个介于 0 和 1 之间的一个数 ε , 如果

$\varepsilon \in [0, \frac{1}{3}]$, 则相互交换第一段, 即第一个杂交点之

前的部分; 如果 $\varepsilon \in (\frac{1}{3}, \frac{2}{3}]$, 则交换第二部分, 即

两点之间的部分; 如果 $\varepsilon \in (\frac{2}{3}, 1]$, 则交换第三部

分. 例如当 $\varepsilon \in \frac{1}{2}$ 时, 则由父代一和父代二交换中

间部分可以得到两个后代:

后代一 1 1 1 0 1 2 2 3 3 4 2 2 3,

后代二 0 0 1 1 0 1 3 2 1 1 2 4 4.

变异是以一定的概率随机地改变一个个体的一个或数个基因位, 它的目的是加强遗传算法的局部搜索能力并且保持种群的多样性从而避免早熟现象. 本文的变异率用一个线性函数来表示, 计算公式是: $p_m = 0.001 + (0.1 - 0.001) \text{current } G / \max G$, p_m 随着进化代数的增加而增大, 其目的是在计算的后期加速收敛. 具体的变异方法是: 对于一个个体 $X_1 X_2 \cdots X_i \cdots X_m Y_1 Y_2 \cdots Y_j \cdots Y_n$, 对于前半部分 $X_1 X_2 \cdots X_i \cdots X_m$, 先随机产生一个 1 行 m 列的数组

$(\partial_1, \partial_2, \cdots, \partial_m)$, 其中 $\partial_i \in [0, 1]$, $i = 1, 2, \cdots, m$, 如果 $\partial_i \leq p_m$ 则对对应位 X_i 实施变异, 即如果 $X_i = 0$, 则 $X'_i = 1$; 如果 $X_i = 1$, 则 $X'_i = 0$. 对于后半部分 $Y_1 Y_2 \cdots Y_j \cdots Y_n$, 也是先随机产生一个 1 行 n 列的数组 $(\beta_1, \beta_2, \cdots, \beta_n)$, $\beta_j \in [0, 1]$, $j = 1, 2, \cdots, n$, 如果 $\beta_j \leq p_m$ 则对对应的位 Y_j 实施变异, 变异后的 $Y'_j \in [1, m]$ 且 $Y'_j \neq Y_j$.

2.4 选择

本文采用的是 NSGA-II 的选择方法, 首先将种群分层, 每一层都支配下面层次的个体. 第一层支配种群中除本身外的所有个体, 第二层支配除第一层和本身外的所有个体, 第三层个体支配除去前面两层和本身外的所有个体, 其它层则依此类推. 从第一层开始逐层选择个体到父代种群, 直至父代种群超出了其原有规模, 如果父代种群未填满, 则需填满种群. 具体的填满方法: 假设已装进前 n 层个体, 那么先计算第 $n+1$ 层的个体的聚集距离, 一个个体的聚集距离可以通过计算与其相邻的两个个体在每个子目标上的距离差之和来求取, 依照第 $n+1$ 层个体的聚集距离, 从大到小选择个体到父代种群, 直至填满为止.

2.5 算法流程

第 1 步: 初始化参数和种群. 设定种群规模为 N , G 为 1, 最大迭代次数为 $\max G$, 杂交概率为 p_c , 变异概率为 p_m .

第 2 步: 对种群进行杂交变异; 如果当前代数能被 10 整除, 则删除父代种群及其后代中重复的个体, 并随机产生相同数量的个体填补个体.

第 3 步: 用 NSGA-II 中的选择方法选择下一代种群.

第 4 步: 存储非支配解并去除不可行的非支配解, 画出每个可行非支配解的图形, 并将其输出.

第 5 步: 如果 $G \leq \max G$, 则 $G = G + 1$, 并返回第 2 步, 否则运算结束.

3 数值仿真

假定已知 8 个客户 ($G_1, G_2, G_3, G_4, G_5, G_6, G_7, G_8$) 和 5 个候选地址 (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5), 每个客户的需求量 q_j 如表 1 所示, 客户与候选地址之间的距离 d_{ij} 如表 2 所示, 配送中心的容量 U_i 及到各客户的单位运费 c_{ij} 如表 3 所示. 配送中心的固定建设费用 $f_i = 8.5 \times 10^5$ 元, 客户要求的配送时限 $t_j = 10$ h, 客户要求的最大

低时间满意度 $r_j = 0.85$, 配送车辆的速度为 $V_{ij} \sim N(40, 10^2)$. 试确定最优的配送中心选址方案.

表1 客户的需求量

客户	需求量
C_1	490
C_2	250
C_3	520
C_4	390
C_5	80
C_6	540
C_7	160
C_8	95

表2 候选地址与客户之间的距离 km

候选地址	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
F_1	220	400	360	140	180	580	520	610
F_2	250	180	200	160	160	150	200	150
F_3	500	300	160	210	200	300	440	420
F_4	600	550	440	480	400	160	190	180
F_5	160	200	520	180	500	280	350	200

表3 配送中心的容量及到各客户的单位运费

配送中心	容量/ t	到各客户的单位运费/(元·t ⁻¹)							
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
F_1	1 500	5	11	3	3	3	10	11	11
F_2	1 200	14	6	8	9	3	3	4	4
F_3	850	10	11	3	5	4	5	9	5
F_4	1 200	15	13	9	6	7	4	3	4
F_5	900	9	7	3	4	6	5	12	3

该数值试验主要有两个目的:1) 检验编码、解码和杂交算法的有效性;2) 检验模型的有效性.

本文采用 matlab 7.0 编写求解程序, 参数设置如下: 种群规模 $\text{pop} = 100$, $\max G = 200$, $p_c = 0.8$, $p_m = 0.001 + (0.1 - 0.001) \cdot \text{current } G / \max G$, $p_{n_1} = 50$, $p_{n_2} = 10$, 进化代数 200 代, 所有的实验在一个 CPU 是 3.20 GHz、内存是 504 MB、以 windows XP 为操作系统的电脑上运行. 大概耗时 415 s, 最后得到 4 个非支配解, 整理后即得到 4 个最优的配送方案, 见表 4.

通过这 4 个最优解可以看到物流成本是与时间满意度成背反关系的, 物流成本最小的时候顾客时间满意度也最低, 这是比较符合实际的. 物流企业可以根据自身实际, 在综合考虑运营成本的同时, 最大程度地满足顾客对商品和服务的时间要求, 从而在客户中树立良好的形象.

表4 计算结果

最优配送方案	物流成本	服务时间满意度
$F_1 : C_1, C_4$		
$F_2 : C_2, C_5, C_6, C_7, C_8$	4 238 800	0.986 7
$F_3 : C_3$		
$F_1 : C_4$		
$F_2 : C_2, C_5, C_6, C_8$	6 068 600	0.990 8
$F_3 : C_3$		
$F_4 : C_7$		
$F_5 : C_1$		
$F_1 : C_4$		
$F_2 : C_2, C_5, C_6, C_7, C_8$	5 255 400	0.990 2
$F_3 : C_3$		
$F_5 : C_1$		
$F_2 : C_2, C_5, C_6, C_7, C_8$		
$F_3 : C_3$	4 522 400	0.989 1
$F_5 : C_1, C_4$		

4 结论

选择合适的物流配送中心选址, 可以优化物流系统, 提高物流系统的运作效率, 给企业带来更好的经济效益. 在信息技术高度发达的今天, 物流的速度与效率成为当今衡量物流企业服务水平的一项重要指标. 本文将时间满意度作为物流服务水平的一种测度, 以物流成本最小化和时间满意度最大化为目标, 建立了配送中心选址的多目标优化模型. 算例结果表明, 该模型对传统选址模型具有实际意义的改进, 可以让决策者根据企业战略选择适合的方案, 因此更具有优越性.

参考文献:

[1] 冯瑞芳, 丰超. 物流配送中心选址策略研究[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(12): 3366-3370.

[2] 赵冬玲, 孔志周, 官东. 基于改进遗传算法的物流配送中心选址研究[J]. 统计与决策, 2008(11): 153-155.

[3] 吴兵, 罗荣桂, 彭伟华. 基于遗传算法的物流配送中心选址研究[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(2): 89-91.

[4] 周根贵, 沈雁飞. 基于时间满意度的物流配送中心选址问题研究[J]. 浙江工业大学学报, 2008, 36(4): 355-358.

[5] Ding Wei, Li Yan-yan, Zhang Qiu-wen. An Improved Genetic Algorithm for Grain Distribution Centers Locations [EB/OL]. [2010-05-25]. <http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=4743813> &

queryText%3DAn + Improved + Genetic + Algorithm + for
+ Grain + Distribution + Centers + Location%26opened
Refinements%3D * %26searchField%3DSearch + All.

- [6] Xiao Jian-mei, Wang Xi-huai, Fu yu. Improved ant colony optimization algorithm solve logistics distribution center allocation[EB/OL]. [2010-05-25]. <http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=5195015&query>

Text%3DImproved + ant + colony + optimization + algorithm + solve + logistics + distribution + center + allocation%26openedRefinements%3D * %26searchField%3DSearch + All.

- [7] Wang Ni, Lu Jye-Chyi, Kvam Paul. Reliability modeling in spatially distributed logistics systems [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2006, 55(3): 525-534.

Application of Multi-objective Evolutionary Algorithm in the Location of Logistics Distribution Centers

Zhang Jin-feng¹, Chen Wei-li²

(1. Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China;

2. Library of Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The traditional location models only seek to minimize logistics cost without regard to the quality and efficiency of service. It sets the time to satisfy customers as a measurement of the location of logistics distribution centers, proposes the method of calculating the customer-satisfying time, and establishes the multi-objective optimization model with the goal of minimizing the logistics cost and maximizing customers' satisfaction. A multi-objective evolutionary algorithm, based on NSGA-II, was proposed to solve the problem. The optimal solutions to the model were obtained by selecting the appropriate encoding method and genetic operators. A practical example shows the validity of the model and algorithm. This model makes it possible to get several efficient solutions, thus providing a more comprehensive decision support for decision-makers.

Key words: distribution center; logistics; multi-objective optimization; location; evolutionary algorithm

(上接第61页)

Stability Analysis of a Class of Continuous T-S Fuzzy Control System

Liu Jun, Jin Chao-yong

(Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The stability of a class of continuous T-S fuzzy control system is analyzed. New sufficient conditions are proposed, which is based on piecewise Lyapunov function. Finally, an example is given to illustrate the effectiveness of the approach.

Key words: T-S fuzzy model; stability; piecewise Lyapunov function